

# 「多視点画像が表示可能なディスプレイにおける臨場感—運動視差の観点から—」

名手久貴  
映像学科

Study on the presence in observing the multi-view display

NATE Hisaki

Department of imaging art

(Received November 12, 2003 ; Accepted January 18, 2004)

## 1. はじめに

近年、COSMOS、CAVIN<sup>1)</sup>等、観察者の視点位置に対応した映像を実時間で提示可能なディスプレイが開発されている（多視点ディスプレイ）（図1）。多視点ディスプレイ観察時、観察者が移動すると観察者の網膜像もそれに伴って変化するため、非常に臨場感の高い映像を体験できると言われている。

臨場感を構成する要素として、実在・自然感、融合・迫力感、立体感・操作性という3つが挙げられる<sup>2)</sup>。これらの要素を満たし、高臨場感を知覚させるディスプレイは、大画面、高精細、立体を満たしていることが条件である。

現在、これらすべての条件を満たしているディスプレ

イは存在せず、ディスプレイ毎に満たしている条件が異なる。多視点ディスプレイの特徴は、人の移動に対応して提示像が変化することである。これは、人間の立体視の観点から考えると、多視点ディスプレイは運動視差という立体情報を提供可能であるといえる。そこで、本稿では多視点ディスプレイの提示像から知覚される立体感について考察する。そして、最後に、多視点ディスプレイによって惹き起こされる臨場感について、立体、大画面、高精細の観点から総合的に考察する。

## 2. 多視点ディスプレイ

多視点ディスプレイであるCAVIN、COSOMOSは、ほぼ同じ構造である。CAVINは、観察者の前、左右、上下の5面がすべてスクリーンになっており、観察者が移動もしくは首を傾けると、5面すべての像が眼球の位置に応じた像に変化する（図1）。COSOMOSでは、前後、左右、上下の6面に投影される映像が観察者の眼球位置に応じて変化する。実時間で観察者の眼球位置に対応した映像が提示される仕組みは、観察者に付着されたセンサーによって眼球の位置情報がディスプレイ側に送られ、位置情報を基にした画像データがリアルタイムに生成・提示されることである。また、CAVIN、COSOMOSは偏光メガネをかけて観察するため、左右の眼球の位置に対応した視差画像が独立に提示可能な2眼式立体表示が基本になっている。

## 3. 人間の立体視

人が外界を知覚する時、瞳を通過した光線が網膜に投影される。網膜上に形成された像から、人は方向や運動、立体などを知覚する。立体を知覚するために、両眼視差、運動視差、輻輳、調節、オクルージョン、陰影等の様々

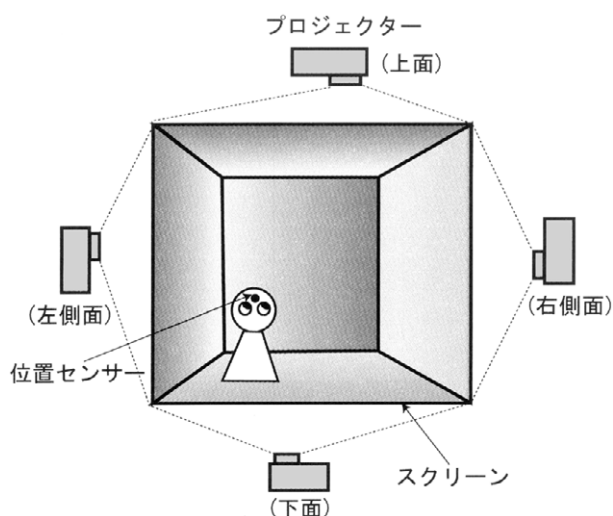


図1 CAVINの構成外略図。位置センサーにより観察者の移動に応じた映像が5面スクリーンに投影される。

な立体情報を網膜像から抽出している。

・両眼視差：両眼視差は、人間の眼が水平方向に約65 mm 離れているために発生する両眼間の網膜像の差である。図2は、対象Aを注視している様子を示す。対象Aが最も観察者から離れており、対象B、Cの順に観察者に近接した位置に配置されている。左右眼での網膜像B'、C'は網膜像A'と異なる方向の網膜位置にできる。また、Cの方がBより観察者に近いため、C'はB'よりもA'から離れた位置になる。このA'とB'、A'とC'のズレ量が両眼視差量となる。両眼視差量は対象間の距離AB、ACに比例し、観察者と注視対象Aまでの距離の2乗に反比例する。対象間の距離が増加すると両眼視差量が増加するという関係があるため、人は両眼視差を検出することにより奥行きを知覚することができる。人の両眼視差の検出精度は非常に高く、両眼視差量が数秒程度でも検出可能である。普段の視力よりも10倍程度以上の検出能力になる。また、1°程度までは両眼視差の検出能力は高いが、その後急速に低下し、左右眼の像が2重に見えるようになる<sup>3)</sup>。

・運動視差：運動視差は、観察者が身体を移動させるときに、視空間に存在する対象の位置が規則的に変化する様子を言う<sup>4)</sup>。運動視差を効果的に立体情報として利用できる場面として、電車の窓から外の風景を眺める場面が挙げられる。図3は、奥行き位置の異なる対象a、b、c、dを移動しながら観察している様子を示す。観察者の注視点よりも奥に存在する対象ほど、その網膜像は観察者の進行方向と同じ方向に高速に移動する。一方、注視点よりも観察者に近い対象ほど、その網膜像は進行方向と逆方向に急速に移動する。このように、観察者の頭

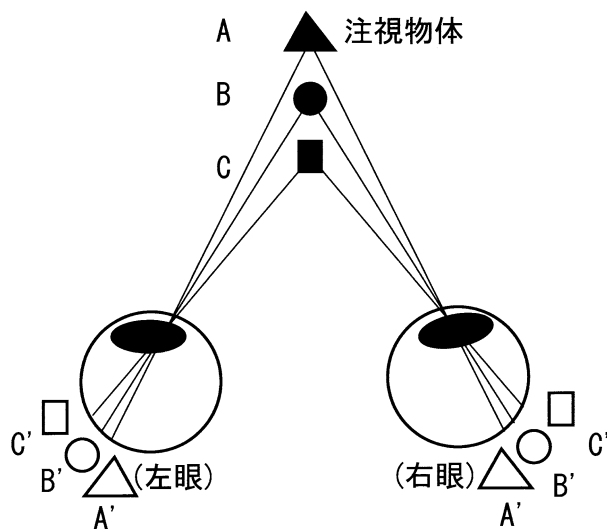


図2 観察者が対象Aを注視している様子。A'、B'、C'は、それぞれ対象A、B、Cの網膜像を示す。

部が移動すると、対象の網膜像は観察者の注視点からの距離に応じて特定の方向、速度で移動する。この方向、速度と奥行き距離との関係を利用した立体情報が運動視差である。

運動視差は、一般的には観察者が移動した際に発生する網膜像の変化パターンによる立体情報である。しかし、観察者が移動しなくても、移動した時と同様の変化パターンが発生する場合がある。例えば、カメラがパンした時の映像をディスプレイで観察した場合などである。観察者は静止してディスプレイを観察しているにもかかわらず、ディスプレイ内では移動している映像が映し出されている。このときの映像はカメラの移動に対応した映像のため、観察者はディスプレイの映像から運動視差を立体情報として抽出することが可能である。この場合の運動視差と観察者が移動することにより得られる運動視差は、等価値であろうか。観察者が移動することによる運動視差から知覚される奥行きは移動しない場合の運動視差から知覚される奥行きよりも大きいとする報告がある<sup>5)</sup>。これは、観察者の移動を伴う運動視差と伴わない運動視差は、等価値ではないことを示している。また、観察者の移動を伴う運動視差を能動的運動視差として、運動を伴わない運動視差と区別する報告もある<sup>6)</sup>。これら視差情報以外にも立体情報となるものとして次のようなものがある。

・輻輳：観察者から近い対象ほど対象と両眼の視線のな

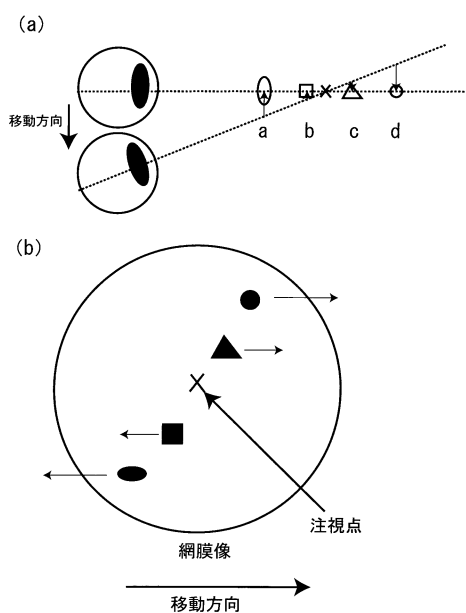


図3 (a)は、対象a、b、c、dを観察している様子を示す。観察者との距離は、aが最も近く、b、c、dの順に段階的に観察者から離れた位置に配置されている。(b)は、観察者が移動した時の網膜像の変化を示す。

す角度（輻輳角）が大きくなる。この輻輳角と対象の奥行き位置との関係を利用した立体情報が輻輳である。

- ・調節：注視点付近の対象には焦点が合うが、注視点から遠ざかる対象ほど焦点がボケる。この焦点のボケ具合を利用した立体情報が調節である。

- ・オクルージョン：奥行きの異なる複数の対象が重なり合ったとき、手前の対象が奥の対象の一部を遮蔽して観察されることがある。観察者は遮蔽された方の対象は、遮蔽した対象の奥に位置すると知覚する。この対象間の重なりを手がかりにした立体情報がオクルージョンである。

- ・陰影：陰影は、影のつき方を利用した立体情報である。日常生活では光が上方から照射される場合が多く、凸の部分の影は下側にできることから判断している。

このように、人は様々な立体情報を利用して奥行きを知覚している。しかし、日頃、常時これらの情報がすべて利用可能というわけではない。例えば、調節が利用可能な距離は2m程度、輻輳についても20m程度までである。このように、利用可能な奥行き情報は場面ごとに異なる。現実の場面では、人は利用可能な立体情報の協調関係を保ちながら奥行きを知覚している。

#### 4. 多視点ディスプレイが提示可能な立体情報

外界の環境と同じようにすべての立体情報が表示可能なディスプレイは、多視点ディスプレイを含め、現状では存在しない<sup>(注1)</sup>。また、ディスプレイによっても利用可能な立体情報は異なる。CAVINやCOSMOSでは、偏光メガネをかけて、両眼のそれぞれの位置に対応した視差画像が提示可能である。また、CAVINやCOSMOSは観察者の移動による眼球の移動に対応して視差画像を提示することもできるため、スクリーンに提示される対象が映像内の世界（もしくは、観察空間座標系）では静止していても、眼球の移動に対応してスクリーン上の対象は連動して移動する。このため、観察者は運動視差を立体情報として利用することができる。

これらの多視点ディスプレイは、両眼視差と運動視差を立体情報として提供することができるだけでなく、陰影、オクルージョンなどの単眼性の立体情報も提供可能である。しかし、これらの単眼性の立体情報は、一般的なCRTディスプレイやLCDディスプレイでも提供可

注1) 外界を観察していても、常時すべての立体情報が利用可能というわけではないが、注視点の移動や自己移動などによって、かなりの立体情報が利用可能になる。これに対して、ディスプレイ観察中は、どのような状況においても利用不可能な立体情報が存在する。たとえば、CRTのような平面ディスプレイでの提示像では、両眼視差や輻輳が立体情報として利用できない。

能であるため、多視点ディスプレイに特徴的な立体情報とはいえない。また、両眼視差は多視点ディスプレイに限らず、二眼式立体ディスプレイでも提供することができる。このようなことから、多視点ディスプレイが特徴的に提供可能な立体情報は能動的運動視差ということが出来る。

#### 5. 多視点ディスプレイにおける垂直方向の運動視差

多視点ディスプレイは、観察者の垂直方向の移動にも対応した画像を提示できる。人は水平方向だけではなく垂直方向にも移動可能であるため、多視点ディスプレイも、観察者の垂直方向の移動にも対応可能であるほうがよい。しかし、前節の運動視差は観察者が水平方向に移動した場合に発生する運動視差についてのみ説明している。そこで、本節では、観察者が垂直方向に移動した場合に発生する運動視差について考察する。

垂直方向の運動視差は、水平方向の運動視差と同様、観察者の垂直方向の移動に対応して網膜像が規則的に垂直方向に変化することである。Hayashibe<sup>7)</sup>は、注視点と対象の網膜像との関係について5つのケースに水平方向の運動視差を分類しているが、これを垂直方向の運動視差に当てはめると図4のようになる。図4は、奥行き位置の異なる対象a、b、cを観察しながら下から上に向かって移動した場合、奥行きの異なる対象がどのように

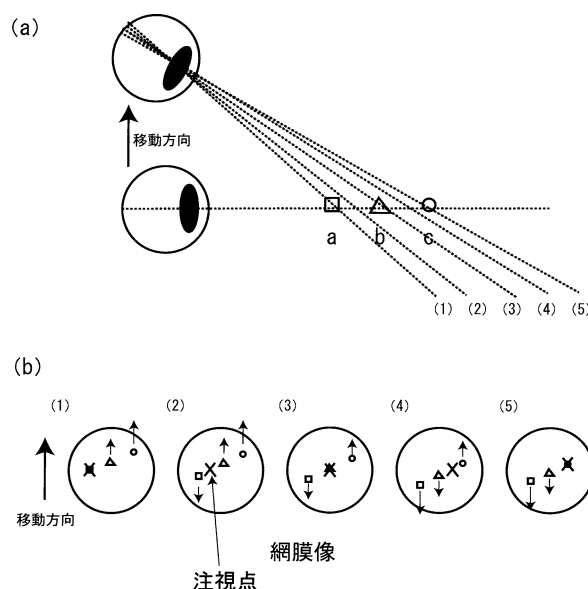


図4 (a)は、対象a、b、cを観察している様子を示す。a、b、cの順に段階的に観察者から離れた位置に配置されている。(b)は、観察者が移動しながら、注視点の位置によりa、b、cの網膜像がどのように変化するかを示す。



網膜上を移動するかについて示している。

注視点よりも奥に存在する対象の網膜像ほど観察者の進行方向と同じ方向に高速に移動し、注視点よりも観察者に近い対象の網膜像ほど進行方向と逆方向に高速に移動する。また、注視点の位置が変化すると対象の網膜像上での移動パターンが変化する。これらの点は水平方向の運動視差と同様である。しかし、垂直方向の運動視差は水平方向の運動視差と同様の効果を持つのか、もしくは垂直方向の運動視差が水平方向の運動視差と異なった独自の効果を持つのかについては明らかではない。また、現在、水平方向の運動視差に関連する先行研究は数多く存在するものの、垂直方向の運動視差に関連する先行研究は数少ない。垂直方向の運動視差について余り関心が払われなかった原因の一つとして、水平方向の運動視差が非常に強力な立体情報であることが考えられる。また、立位から座位へ姿勢を変化させた場合のように上下移動もあるが、日常での自力による移動は歩行などの水平移動が中心になることも原因の一つと考えられる。

垂直方向には、運動視差だけではなく、両眼視差も同様に発生する。垂直方向の両眼視差量は、対象の視方向と距離に依存する。垂直方向の両眼視差に対する処理メカニズムは、水平方向の両眼視差といくつかの点で異なる。水平方向の両眼視差が奥行きを知覚させる役割を果たすのに対して、垂直方向の両眼視差から計算される対象の方向、距離を基に水平方向の両眼視差を補正し、奥行き構造の知覚を安定させる役割を担う<sup>8)</sup>。また、水平方向の両眼視差の処理が局所的な処理を行うのに対して、垂直方向の両眼視差が広域的な処理を行うという特徴をもつ<sup>9)</sup>。水平方向の両眼視差と垂直方向の両眼視差は同じ眼の網膜像の差でありながら処理メカニズムが異なる。このため、垂直方向の運動視差と水平方向の運動視差も、単に視差の生じる方向が異なるだけのものと捉えるのではなく、処理メカニズム自体が異なるかどうかについても考える必要がある。つまり、垂直方向の運動視差についてまだ解明されていない状況では、水平方向と垂直方向の運動視差を独立した立体情報として捉える必要の可能性がある。

筆者らが行った視覚実験<sup>9)</sup>の結果では、「書き割り効果」を効果的に減少させるためには垂直方向の運動視差も考慮する必要性を示唆した。書き割り効果とは、二眼式立体表示を観察したとき、両眼視差により凹凸を表現しているにも関わらず凹凸が感じられず、まるで舞台などで使用する書き割りのように知覚される現象である。この実験では、被験者の横方向への移動に対しては、被験者の移動に対応した画像を提示した。しかし、垂直方向の移動に対しては、被験者の移動に対応した画像を提

示しなかった。提示画像はランダムドットをプリントした円柱であった。観察条件として被験者が移動しながら映像を観察する条件 (HM+D 条件)、HM+D 条件で被験者が観察する画像をシミュレートした画像、つまりカメラを左右にパンさせた画像を被験者が静止して観察する条件 (NHM+D 条件)、静止した画像を静止して観察する条件 (D 条件) を設けた。HM+D 条件では、被験者の移動を伴う場合の運動視差と両眼視差が立体情報として利用可能であり、NHM+D 条件では被験者の移動を伴わない運動視差と両眼視差が立体情報として利用可能であり、D 条件では両眼視差が利用可能であった。図 5 のグラフは、各条件の円柱の厚み感を示し、値が大きいほど厚み感が大きい。つまり、値が小さいほど厚みが感じられず書き割り効果が顕著に発生していることを示す。実験の結果、HM+D 条件における書き割り効果は、NHM+D 条件における書き割り効果よりも大きかった。ただし、両条件の間に有意な差は見られなかった。実験前、被験者が移動する条件は被験者の移動による自己移動知覚等のフィードバック情報が得られるために、HM+D 条件の方が NHM+D 条件よりも書き割り効果が小さいと予想していた。しかし、実験の結果は、予想に反していた。この原因として、観察者の垂直方向の移動に対応した画像を提示していなかったために、垂直方向の運動視差を利用できなかったことが原因である可能性が示唆された。この結果からも、垂直方向の運動視差

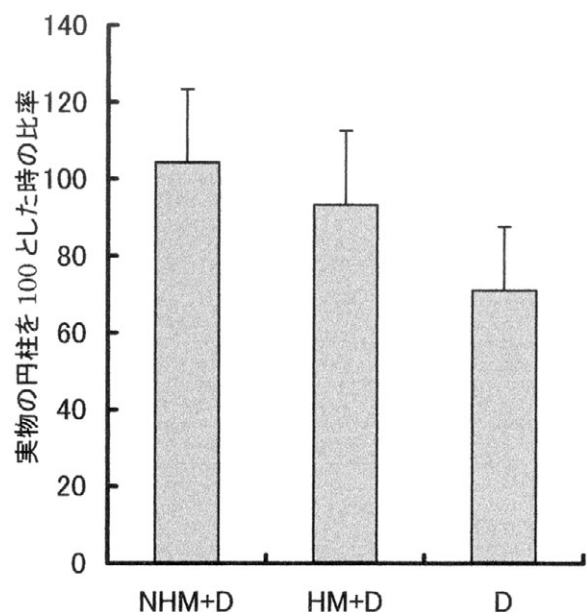


図 5 実験の結果。被験者の側に配置した円柱の厚みを 100 としたときの画面に提示された円柱の厚みの主観的な比率を報告するよう教示した。被験者の側に配置された円柱は撮影時に使用した円柱と同一であった<sup>9)</sup>。

の処理メカニズムについて、水平方向の運動視差との比較からさらに研究する必要性を示唆している。

多視点ディスプレイの特徴が、単に人の移動に対応した画像を提示できるというだけではなく、水平方向の運動視差とこれまであまり議論されてこなかった垂直方向の運動視差の両方が利用可能であるという特徴も持ち合わせている。垂直方向と水平方向の運動視差を立体情報として利用できることにより、従来の CRT ディスプレイや二眼式立体ディスプレイよりも立体感のあるディスプレイであることができる。また、本稿では、水平方向の運動視差と垂直方向の運動視差を独立に議論してきたが、自然な観察場面では、垂直もしくは水平に移動するということは少なく、ほとんどの場合は両者を組み合わせた方向に移動する。このことから、今後、水平方向と垂直方向の運動視差の相互作用についても議論する必要があると考えられる。

## 6. 多視点ディスプレイの臨場感

前節までは、多視点ディスプレイの立体感について議論したが、本節では、多視点ディスプレイの臨場感について議論する。高臨場感を知覚するためには、大画面、高精細、立体が必要である。では、どの程度、大画面、高精細、立体を表示できればよいのだろうか。人間の視機能の点から考えると、画面サイズについては視角にして30°以上あれば、高臨場感が知覚される<sup>1)</sup>。また、解像度については、人間の視力限界以上の解像度とすればよいと考えられる。視力1.0の人は、30 cm 前方の対象の0.087 mm の微妙な変化を見分けられる。これは、画素ピッチが0.087 mm より小さい必要があることを示している。さらに、2本の線分の長さの違いを判別できる最小の差分である副尺視力などを考慮すると、0.005 mm 程度の画素ピッチが求められる<sup>2)</sup>。現在の標準的な LCD の画素ピッチが0.2 mm 程度であることを考えると、人間の視力限界以上の解像度をクリアすることはハードルが高い。立体化については、外界観察時に利用可能な立体情報が利用可能であれば高臨場感が知覚されることが考えられる。これは、3節で述べた立体情報が利用可能であれば良いことを示している。ただし、人間の立体を知覚するメカニズムがすべて解明されているわけではないので、立体化に関しては人間の立体視機構の解明とディープレイの評価を同時並行して行う必要がある。

多視点ディスプレイは、視角30°以上を十分クリアしていると考えられる。また、解像度については、現在、達成されていないが、高精細な液晶パネルが開発される

と、それに置き換えるだけでクリアできるため、原理上の問題はない。最後の立体については、従来の CRT ディスプレイや二眼式ディスプレイと比較すると、運動視差が立体情報として利用可能である点で進歩した提示装置であると言える。しかし、調節等の立体情報が利用できない等のことを考えると完全な立体情報を提示できていないとは言えない。立体化を完全に近い形で行うには、光の干渉と回折を利用して物体のすべての情報を記録・再生することが可能なホログラフィ<sup>10)</sup>の技術や人の瞳に二つ以上の視差画像を入射させる超多眼立体表示技術<sup>6)</sup>を用いる必要がある。

## 7. ま と め

多視点ディスプレイは、人の移動に対応した画像が提示可能であるため非常に臨場感のある映像を観察者に提示できる。人間の立体視機能の観点から考察すると、多視点ディスプレイは、運動視差、両眼視差、オクルージョン、陰影等が利用可能である。特に多視点ディスプレイは、運動視差が利用可能であるという点が特徴である。そして、多視点ディスプレイは、垂直方向の運動視差も利用可能である。現在、垂直方向の運動視差については、あまり研究されていない。今後、臨場感の高いディスプレイの開発が進むことが予想されるが、これらのディスプレイの評価視標としても、垂直方向の運動視差の特徴について検討を行うことが是非必要があると考えられる。

## 参考文献

- 1) 廣瀬通孝 “全天周ディスプレイ”。映像情報メディア学会誌、55、1064-1066 (2001)。
- 2) 畑田豊彦 “シリーズ先端ディスプレイ技術 6。高臨場感ディスプレイ” 10-32、共立出版 (2001)。
- 3) 下野孝一 “視覚情報処理ハンドブック” 287-290、朝倉書店 (2001)。
- 4) 松田隆夫 “視知覚” 138-140、培風館 (1995)。
- 5) Rogers, B. and Graham, M. “Motion parallax as an independent cue for depth perception” Perception, 8, 125-134, (1979)。
- 6) 平成10年度高度三次元動画像遠隔表示プロジェクト研究開発報告書 (1999)。
- 7) Hayashibe, K. “Reversals of visual depth caused by motion parallax. Perception” 20, 17-28 (1990)。
- 8) 金子寛彦 “立体視における垂直両眼視差の役割” 3次元画像コンファレンス 2001 講演論文集、113-116 (2001)。
- 9) 名手久貴・須佐見憲史・畑田豊彦 “運動視差による「書き割り効果」の減少” 映像情報メディア学会誌、56、6、1015-1019 (2002)。
- 10) 久保田敏弘 “ホログラフィ入門—原理と実際—” 8-20、朝倉書店 (1995)。